Türkiye
Bilimler Akademisi



CİHAN SAÇLIOĞLU

Felsefenin Kuantum Mekaniksel Temelleri

Akademi Forumu 24

İÇİNDEKİLER

SUNU

Prof. Dr. Cihan Saçlıoğlu 8 Nisan 2002 günü İstanbul'da Türkiye Bilimler Akademisi Akademi Konferansları Programı çerçevesinde "Felsefenin Kuantum Mekaniksel Temelleri" konulu bir konferans vermiştir.

Prof. Saçlıoğlu konuşmasında klasik fiziğin, felsefeyle birlikte, gündelik yaşamla ilgili güncel nitelikli gözlem ve deneyimlerin açıklanmasını mümkün kılan uğraş alanları olarak görüldüğünü belirtmiştir. Kuantum fiziğinin ilke ve kurallarının geçerliliği ise yaygın görüşe göre atom ve atom altı sistemlerin soyut dünyasıyla sınırlı kalmaktadır. Sayın Saçlıoğlu kuantum fiziğini, relativistik kuantum mekaniğini ve kuantum alan teorisinin temel kavramlarını açıklamış, verdiği örneklerle bu bilim alanlarının ya da kısaca kuantum fiziğinin, geliştirdiği temel ilke ve kavramların makro dünya için de geçerliliği olduğunu, günlük yaşantının anlaşılamamış, ancak kanıksamış pek çok olgusuna açıklamalar getirebildiğini ortaya koymuştur. Bunların ötesinde, dünyamızın

tanıdığımız şekliyle varoluşunun bu temel ilkeler ve kavramlarla *açıklanabildiğini ifade etmiştir.*

Prof. Saçlıoğlu'na konferansı için Türkiye Bilimler Akademisi adına teşekkür ederim.

Saygılarımla,

Prof. Dr. Engin BERMEK
Akademi Başkanı

Felsefenin Kuantum Mekaniksel Temelleri

Yukarıdaki başlık aslında içeriği çok iyi yansıtmıyor, biraz daha doğrusunu söylemek gerekirse 'kuantum mekaniksel temelleri' yerine 'felsefenin relativistik kuantum alan teorisine dayanan temelleri' demek lazım; ama kelime oyunundan vazgeçemedim. Kelime oyunu şuradan geliyor: eminim herkes bir sürü 'kuantum mekaniğinin felsefi temelleri' başlıklı kitap, makale vs. görmüştür. Bunların genelde havası, 'Bu kuantum mekaniği çok derin ve tuhaf bir şey ve çok büyük felsefi problemler çıkartıyor; temelindeki kavramlar o kadar acayip ki, teorinin felsefeyle yeniden yorumlanması gerekli' şeklinde.

Bunları küçümseme anlamında söylemiyorum, bunlar hakikaten çok derin şeyler; fakat konuşmamın konuları kesinlikle bunlar değil. Bir kelime oyununa tevessül etmiş olmama rağmen aslın-

da söyleyeceğim şey, ümit ediyorum ki herkese duyunca "tabii, bu zaten böyleydi" dedirtecek cinsten.

KUANTUM FİZİĞİ HAKKINDA YAYGIN GÖRÜŞLER

Yalnız ilk önce, insanların kafalarında yaygın olan birtakım inanışlara, görüşlere bir göz atalım. Kuantum fiziği hakkında birtakım kanılar var: 'bildiğimiz dünyaya hiç benzemiyor', 'sadece küçük atom ve atom altı ölçeklerde gerekli' gibi. Daha yüksek hızlarda relativistik kuantum mekaniği, bunun da açıklayamadığı şeyler için ise kuantum alan teorisi gerekiyor bu ufak ölçeklerde. Gene yaygın bir görüş, 'deneycilerin çok hassas şekilde ölçtüğü birtakım çok ezoterik, gündelik dünya ile alakasız bazı efektleri açıklamak için bu kuantum alan teorisi gerekiyor, ama her gün gördüklerimizle bunların fazla bir ilgisi yok' şeklinde.
Bir başka iddia da 'kuantum mekaniğinde determinizm ve kesinlik ortadan kalkıyor, belirsizlik ilkesiyle her ölçüm, her mesele bulanık bir hal alıyor ve teori felsefi yönden şaşırtıcı ve tartışmalı temel fikirler içeriyor' şeklinde. Bu yalan değil, yani burada hakikaten tuhaf fikirler var; Schrodinger'in kedisi gibi. Mesela bir yazı tura atıyoruz, para yere düşüyor, netice ya yazı ya tura, fakat diyelim ki hemen bakmıyoruz. Şimdi klasik objektif gerçeklik kavramına göre " bu, baksak da bakmasak da ya yazı ya tura" deriz. Kuantum mekaniğinde ise, bakmadığımız sürece, yazı ile tura durumları bir tuhaf askıda kalmış şekilde bir arada bulunuyorlar ve ancak gözlemimiz onu bunlardan bir tanesi haline getiriyor. İnsan, "Bu ikisi arasında ne fark var; yani askıda demekle ne kastediyorsun? Zaten ancak bakınca durumu öğre-

nebiliyorsun. 'Askıda yazı-tura bir arada' demekle 'objektif olarak (yani ben bakmasam da) yazı veya tura' demek arasında gerçekten deneysel olarak ölçülebilir bir fark var mı" diye sorabilir. Deneysel olarak biliniyor ki fark VAR ve kuantum mekaniği iki durumun gözlem öncesinde askıda olduğu hale uyuyor. O yüzden *kuantum teorisinin acayipliğini* hiçbir şekilde küçümsemeye imkân yok; fakat dediğim gibi bizim konumuz bu değil.

KLASİK FİZİK HAKKINDA YAYGIN GÖRÜŞLER

Şimdi buna karşılık 'klasik fizik' deyince akla ne geliyor? Klasik fizik hakkında da birtakım yaygın kanılar var, bunlar da şöyle şeyler: Gördüğümüz makroskobik dünyayı tasvir etmek için Newton denklemleri, Einstein denklemleri, bir de Maxwell denklemleri yeterli. Üstelik bu bizim formel olarak da destekleyebileceğimiz bir şey; çünkü **Planck sabiti h** biliyoruz ki gündelik açısal momentuma göre veya eyleme göre çok ufak; onu tam formel olarak sıfıra götürürsek, zaten kuantum mekaniği denklemlerinden bu yukarıdaki klasik fizik denklemleri bir anlamda elde ediliyor. Deniliyor ki, klasik fizikte determinizm özelliği var, kesinlik özellikleri var ve felsefi yönden de bir problem yok. O zaman gündelik dünya klasik fizikle, atom ve daha ufak sistemler ise kuantum fiziği ile betimlensin. Halbuki, işte benim burada vurgulamak istediğim nokta geliyor: **bildiğimiz dünyada aslında kuantum alan teorisiyle her an karşı karşıyayız.**

Neden bunun farkında değiliz? Zira çok defa insanların karıştırdığı iki şey var: anlamak ile kanıksamak. Kanıksamada bir şeyi

tekrar tekrar görüyoruz ve bu böyledir deyip artık üzerinde düşünmeyi bırakıyoruz. Bilmek ve kanıksamak, anlamak ve kanıksamak tamamıyla farklı şeyler; **kanıksamak anlamak demek değil**. Mesela, birtakım örnekler vereyim; dosdoğru kuantum alan teorisinden geldiğini iddia edeceğim bunların. Herkesin birer burnu, ikişer kulağı olması, bir bardağa su doldururken su seviyesinin yükselmesi, sonra taşması kanıksadığımız olaylar, ama sebepleri ne? Bunlar tamamıyla kuantum alan teorisinden kaynaklanan şeyler. Kuantum fiziği aslında bulanıklık değil, kesinlik sunuyor; gerçekten klasik fizik tarafından tasvir edilecek bir dünya düşünmeye kalksak amorf ve bildiğimiz, gördüğümüz dünyaya hiç benzemeyen bir tablo çıkıyor.

Bir nokta daha var: "mikroskobik dünyada kuantum mekaniği lazım, makroskobik dünyada ise klasik fizik tamamıyla yeterli" denilince bir ilave hata yapılıyor. Aslında tabii fizikçiler daha doğrusunu biliyor, ama nedense böyle dikkatsizce laflar slogan haline geliveriyor. Aslında meseleler sadece mikroskobik-makroskobik diye ayrılmıyor, bir eksen daha koymak lazım ortaya. Temelde kuantum mekaniği doğru, o yüzden her şey bir cins dalga ile gösterilecek. Şimdi o dalgalar arasında faz ilişkileri tamamıyla gelişigüzel mi, yoksa bu faz ilişkileri bir şekilde uyumlu mu? Koherens veya inkoherens uyumlu veya uyumsuz olduğu haller. O zaman dörde ayırmak lazım karşılaşacağımız fenomenleri: 'koherent ve makroskobik', 'inkoherent ve makroskobik', 'inkoherent ve mikroskobik', 'koherent ve mikroskobik'. Şimdi bu dört kategoriye ayırdığımız zaman durumu daha iyi tasvir edebiliriz . Mesela, koherent ve mikroskobik olarak meşhur çift yarık deneyini elektronlarla yapabilirsiniz. Elektron dalgası tama-

mıyla koherent olarak hazırlanmışsa, orada enteresan girişim etkileri görürsünüz. Sonra makroskobik koherent olaylarda da son derece şaşırtıcı şeylerle karşılaşabilirsiniz; mesela süper iletkenlik, süper akışkanlık. Bunlar çok sayıda parçacığı içermesine rağmen makroskobik boyutlarda kuantum mekaniğinin etkilerini gözler önüne koyan şeyler; bunları klasik fizikle açıklamaya imkân yok. Mikroskobik inkoherent durumlar da olabilir, elektronlarla bir deney yapıyorsunuzdur; ama fazlar bir şekilde birbirlerini ortalama olarak götürürler. Aslında bizim klasik dünya dediğimiz şey, makroskobik ve inkoherent olan kombinezon. İnsanlar diyebilir ki, "tamam, işte tam orada kuantum mekaniğine hiç ihtiyaç yok, zira hem makroskobik, hem de fazlar ve dalga karakteri kayboldu". Halbuki aslında bir sürü felsefi kavramımızın kökeninde tam bu dünya var

KUANTUM ALAN TEORİSİ VE TEMEL KAVRAMLAR

Kuantum alan teorisinin üzerinde neden bu kadar duruyorum? Kuantum alan teorisi nihai teoridir diye bir iddiam yok, fakat kuantum alan teorisi 10 üzeri eksi 18 metre, yani çekirdeğin de bin kat daha altında mesafelere kadar denenmiş vaziyette ve orada geçerli; Standart model diye bir kuantum alan teorisi gayet güzel işliyor. Şimdi bunun nihai teori olmadığı neredeyse kesin gibi, fakat nihai teori olmamasına rağmen, bir başka nihai teoriyi bulduğumuz zaman, o teori de kuantum alan teorisinin şimdiye kadar başarılı bütün özelliklerini yine ortaya çıkarmak zorunda kalacağı için, burada söyleyeceğim şeyler yine geçerli olacak. Şimdi, 'temel kavramlar' diyorum. Kökenleri kuantum alan te-

orisine kadar giden bu temel kavramlar neler?

Mesela, bir tanesi **özdeşlik**. Leibniz bu konuda epey bir şeyler söylemiş. Tam birincil referansları bulamadım, tam ne söylüyor çok da iyi anlayamadım ama bir takım önemli şeyleri sezgisiyle kavramış görünüyor. "Ayırt edilemezlerin aynılıkları" ve "aynıların ayırt edilemezliği". Bunlar kuantum anlamda özdeşlik fikrine benzeyen ifadeler. Makroskobik seviyede bir örnek olarak tek yumurta ikizlerinin özdeş olduklarını genelde söyleriz. Peki, bu özdeşlik nereden geliyor? Veya bunun daha zayıf bir hali olan benzerlik nereden geliyor? Mesela kedileri ele alalım: Platon'un, ilk midir bilmiyorum, ama dikkat çektiği bir nokta var. Şimdi, şu bir gerçek ki bir sürü farklı kedi görüyoruz, fakat herhangi bir kedi gördüğümüz zaman diyoruz ki bu bir kedi. Peki, bunların rengi benzemiyor, boyları benzemiyor, gene de hepsine kedi deyip nasıl bunları sınıflayabiliyoruz? Bu 'kedi' kavramı nereden geliyor? Platon'un görüşü kabaca şöyle: aslında bir **ideal formlar dünyası** var, orada bir tane ideal kedi var ve burada bizim gördüğümüz kediler onun kötü kopyaları. Fakat biz de bir şekilde o ideal formlar dünyasıyla ilişki içindeyiz, oradaki birtakım şeyleri 'hatırlıyoruz'. O gördüğümüz kedileri birer birer ideal formlar dünyasındaki kedilerin örnekleri olarak tanıdığımız için sınıflandırabiliyoruz. Formlara 'evrenseller (üniversallar)' diyerek Aristo da buna devam etmiş, ondan sonra ortaçağda Abelard ve Aziz Thomas Aquinas ve diğerleri de, hatta bugünkü felsefeye bile galiba bu sorunlar bir şekilde taşınmış vaziyette. Yanılmıyorsam değerli arkadaşım Arda Denkel de bu konularla ilgiliydi, fakat bunları onunla konuşmak imkânım olmadı. Aslında evrenseller lisanla da yakından ilgili. Dilbilgisinde 'kedi' bir cins isim ve

'Londra' gibi özel isimlerden farklı bir kategori. Fiiller ise cins isimlerin tekrarlanan müşterek faaliyetlerini ifade ediyor. Mesela canlılar üreme ve ölme fiillerinin özneleri. Kısacası cins isimlerin ve fiillerin varlığı doğa yasalarının bir neticesi, fakat tanıdık çevremizi hangi doğa yasaları nasıl ortaya çıkartıyor?

Sonra, bu **benzerlik** fikrinden şöyle bir başka netice çıktığı söylenebilir. Tamsayılar fikri benzerlik olmadan olabilir miydi? Bu kavramı ilk olarak Frege ortaya atıyor. Tam sayılar, mesela 3 sayısı nasıl elde ediliyor Frege'nin düşüncesine göre? 3 kedi, 3 kaşık, 3 bulut vesaire, her türlü içinde üç tane benzer şey bulunan setleri alıyoruz, sonra da "bütün bu setlerin müşterek özelliği nedir" diyoruz. Cevap "üçlük"; onu oradan soyutlayıp çıkartıyoruz. Şimdi, böyle benzerlikler olmasaydı acaba bu sayı kavramımız da olabilir miydi? Belki de olabilirdi, bilmiyorum, ama hiç değilse mantıklı bir soru gibi görünüyor.

Sonra, yine gündelik hayatımızda çok kanıksadığımız başka bir şey, **yoğun maddenin sıvı ve katı uzayda belli bir yer kaplaması ve başka bir yoğun maddeye yer tanımaması**. Bardağı alıyorsunuz, bardak başta boş, sonra suyu dolduruyorsunuz ve su seviyesi yükseliyor. Şimdi bu, üzerinde düşünmeye hiç değmeyecek bir şey gibi görünüyor, zira tanıdık bir olay. Aslında tamamıyla kuantum alan-teoretik bir fenomenle karşı karşıyayız. Şimdi, boş ve dolu deyince iş 'varlık' ve 'yokluk' gibi başka daha temel şeylere de gidiyor. Bir ara TÜBİTAK *Bilim Teknik* dergisinde belki tamamıyla boşluğa ayrılmış bir özel sayı çıkartmayı düşünüyoruz: kapak siyah olacak baştan aşağıya! Boşluk hakkında söylenecek çok şey var ve ayrı bir konferans gerekir.

Şimdi, iddiam burada bahsettiğim şeylerin hepsinin relativistik kuantum alan teorisinin makroskobik ölçekteki görüntüleri olduğu. Şimdi, şu söylediğimiz "Kuantum mekaniksel denklemlerin Planck sabiti h sıfıra giderken limitini alınca klasik fizik denklemlerini elde ederiz" lafları formel olarak doğru, fakat gördüğümüz dünyada h küçük olmasına rağmen sıfır değil. Gerçekten sıfır olsaydı nasıl bir dünya ortaya çıkardı, onu da konuşmanın sonuna doğru gözümüzün önüne getirmeye çalışacağız; fakat göreceğiz ki, bu sözde tanıdık dünyayı neredeyse hayal etmek bile imkânsız. Şimdi, özdeşlik, benzerlik, doluluk gibi fikirlerimizin altında neler var bir bakalım.

KUANTUM MEKANİKSEL SİSTEMLER

Artık biliyoruz ki mesela tek yumurta ikizleri arasında biyolojik özdeşlik (buna genetik bilimi bu kadar ilerlemeden cevap verilemezdi) DNA'larının aynılığı sayesinde var. Kedilerin arasındaki benzerlik de kedi DNA'sının kararlılığından geliyor. Şimdi, buradaki fikirler temelde Schrodinger'in *What is life* diye 1940'larda birçok insanı etkilemiş bir kitabından kaynaklanıyor. Oradaki argüman, eminim ki modern biyologlar tarafından çok daha rafine edildi ve detaylandırıldı, ama Schrodinger çok önemli bir şey yakalamış ve bence sonradan yapılanlara biraz da bunun içinin doldurulması şeklinde bakılabilir. Söylediği şu kabaca:

Kuantum mekaniğinde enerji seviyeleri sürekli değil, kesikli; o zaman kedi DNA'sında (ki bu en nihayet dev bir molekül) bir şey belli bir enerji seviyesiyse bir burunlu kediye, bunun üstünde

belli bir başka enerji seviyesiyse iki burunlu kediye karşı geliyor, arada bir enerji boşluğu var. Şimdi ya bir enerjidesiniz, ya diğerinde; kuantum teorisinde ikisinin arasında herhangi bir enerjiye izin yok. Boltzmann sabiti k ve mutlak sıcaklık T'nin çarpımı kT civardaki ısısal enerji; alttaki seviyeden bu ısısal enerjiyi alarak yukarı çıkılamıyor, zira aradaki enerji farkı bunun epey üstünde. O zaman bir kararlılık oluyor ve kedi DNA'sı alttaki tek burunlu durumda kalıyor, çok nadiren iki burunlu bir kedi çıkıyor. Yani sonunda kedilerin birbirine benzemesinin sebebi kedi DNA'sının kuantum mekaniksel bir şekilde kararlılığından kaynaklanıyor. Şimdi, bu kesiklilik nereden geliyor? **Kesiklilik bağlı sistemlerde kuantum mekaniğinde kaçınılmaz bir genel netice.** Bağlı demek, bir sistem, bir başka sistemi çekiyor ve uzayın belli bir bölgesine hapsediyor; o hapsettiği zaman genel bir teorem diyor ki hapsedilenin enerji seviyeleri kesikli çıkacak.

Şimdi, önce kedi DNA'sının kararlılığı, bunun temelinde ise atomların kararlılığı ve hatta aynılıkları aslında kısmen bu teoremden geliyor. Teoreme iki kuantum mekaniksel unsur daha eklemek lazım: **Heisenberg Belirsizlik İlkesi** ve **Pauli Dışlama İlkesi**. Fizikçiler için bunlar çok tanıdık, ama herkesin fizikçi olmadığını düşünerek birazcık açıklamaya çalışalım.

Bir yere hapsedilmiş bağlı bir sistemin en basit ve somut şekli olarak, iki ucu sabitlenmiş bir tel ve onun üzerinde elde edilebilecek titreşim kiplerini düşünebilirsiniz. Telin uzunluğu d ise, en uzun dalga boyu 2d, sonrakiler d, 2d/3, d/2,..., yani 2d/n (n=1,2,3..) diye gider. Bunlara karşılık gelen frekanslar var; frekanslar da dalga boyunun tersi kere teldeki sesin hızı v; demek

ki bunlar da 1,2,3,...,n diye gidiyor. Burada tel diyorum, ama bunu kuantum mekaniğine çevirip, buradaki dalgaları kuantum dalga fonksiyonu olarak düşünmek mümkün ve bu dalga fonksiyonu tarafından temsil edilen parçacık da bu iki duvar arasında hapsedilmiş oluyor. Şimdi, eğer Plank'ın da dediğine bakılırsa, frekansların önüne bir tane h koyarsanız enerjileri bulursunuz. Aslında bunu non-relativistik şekilde yaparsanız enerjiler n'nin karesi gibi çıkıyor, fakat önemli olan şey kesikli olmaları. Aslında uçları burada çok sıkı bir şekilde sabitledik, kesiklilik için bu kadar sabit olmaları şart değil. Kuantum mekaniğinde dalga fonksiyonu Ψ kompleks bir fonksiyon, yani bir reel, bir de sanal kısmı var. Sanal kısmın işaretini değiştirirsek eşlenik dalga fonksiyonunu, yani Ψ^* elde ediyoruz. Uzayın x noktasındaki dalga fonksiyonu eşlenik dalga fonksiyonu ile çarpılınca $\Psi(x)\Psi^*(x)$ gibi pozitif bir şey elde ediliyor ve bu da o parçacığı orada bulma ihtimal yoğunluğu. Genel bir teorem gösteriyor ki, bu ihtimal yoğunluğu uzağa gidildikçe belli bir şekilde 0'a gidiyorsa gene kesiklilik kaçınılmaz olarak çıkıyor.

Şimdi o zaman bir iki kuantum mekaniksel sistem daha tanıyalım, onlarda da aynı özelliği görelim. Bu kuantum mekaniksel sistemler hem çok önemli, hem de sonra birtakım örneklerimizde kullanacağımız için bunları biraz incelemek gerekiyor.

Bir sürtünmesiz yatay yüzey üzerinde bir m kütlesi ve onu duvara bağlayan bir yay olsun, yayın kuvvet sabiti de k. Biliyoruz ki bu sistemin karekök (k/m) değerinde bir tabii f frekansı olacak. Böyle bir sistemle neden ilgilenelim? Tabii ki, tek başına o kadar enteresan olmayabilir ama bir basit sarkaç, bir indüktörle-kon-

dansatör devresindeki salınımlar, katı maddelerin özgül ısıları, elektromanyetik dalgalar, ve birçok diğer fiziksel olay sonunda hepsi bu sistemle bir şekilde alakalı. O yüzden bu sistemi anlamak, hakkında biraz bir fikir edinmek önemli. Şimdi, klasik olarak sistem istediği gibi salınabiliyor, ne kadar çekerseniz o kadar büyük enerjisi oluyor ve istediğiniz enerjiyle bunu hareket ettirebiliyorsunuz. Sistemin potansiyel enerjisi $V(x)=1/2\ k\ x^2$ tam bir parabol; bunu kuantum mekaniksel olarak çözdüğünüz zaman, görüyorsunuz ki enerji seviyeleri ancak eşit aralıklı tamsayılar şeklinde oluyor. Bir de temel enerji var. Kütle tam ortada dursun ve hareketsiz beklesin diyemiyorsunuz. Belirsizlik ilkesi yüzünden tam bir noktada tutarsanız, bu defa ister istemez bir kinetik enerjisi olacak; kinetik enerjisini 0 yapmaya kalksanız uzayda her yere yayılacak; sonunda ikisinin arasında en az belli bir enerjiye razı olmak zorundayız; bu da hf/2'ye eşit. Şimdi bu sistemi aklımızda muhafaza edelim ve bir başka önemli sisteme dönelim. Hidrojen atomu. Çünkü DNA, proteinler vesaire, en nihayet dev moleküller, moleküller de atomlardan yapılmış. Demek ki atomların enerji seviyeleri ve bu seviyelerin kesikliliği hakkında fikir edinmemiz lazım.

Şimdi, hidrojen atomu enerjisine bakarsak, bir kinetik enerji kısmı var: $p^2/2m$. Burada p momentum, ondan sonra bir de merkezdeki protonla onun etrafındaki elektronun arasındaki çekim potansiyel enerjisi var; çekim olduğu için eksi işaretli ve r'nin fonksiyonu olarak şekli e^2/r. Rutherford deneyleri ile elektronların çekirdeğin epey dışında olduğu ve neredeyse bütün kütlenin aslında atom yarıçapının yüz binde biri yarıçaplı bir çekirdekte toplandığı anlaşılınca ortaya büyük bir kriz çıkmış. Bu elektron

nasıl oluyor da çekirdeğe düşmüyor bu çekim gücü varken? Diyelim ki dünyanın güneşin etrafında döndüğü gibi açısal momentumla dönsün, yani santrifüj kuvveti ile bunu engelleyelim, ama o zaman da ivmelenirken radyasyon yayacak, büyük hızla enerji kaybedecek ve saniyenin milyarda birinde düşecek.

Şimdi, bunun düşmemesinin, kararlılığının sebebi şu. Belirsizlik ilkesi diyor ki, r yönündeki momentumuyla, r yönündeki pozisyonu arasında h kadar bir belirsizlik var; şu halde momentum p aşağı yukarı h/r gibi, o zaman oradaki p^2 yerine $(h/r)^2$ koyalım. Toplam enerji sadece r'nin bir fonksiyonu oldu. O zaman bu kendini belli bir r'ye, enerjiyi minimize ettiği r'ye ayarlayacak

Bunu yaptığınız zaman bakıyorsunuz ki bu r hakikaten atom büyüklüğünde. Bu bize temel durum enerjisini de veriyor. Yukarıdaki enerjileri de, Schroedinger denklemini çözerseniz bu temel enerji kere bir $1/n^2$ olarak buluyorsunuz. Yani ana fikir şu: Coulomb kuvveti elektronu protona doğru çekiyor, belirsizlik ilkesi ise itiyor ve ikisi arasında bir denge kuruluyor ve atom bir Angstrom, yani 10 üzeri eksi 10 metre boyutlarındaki büyüklüğünü bu denge neticesinde elde ediyor.

Hidrojen atomunun içi ne kadar boş bunu hakikaten iyi anlamak lazım. Çünkü atomun yüz binde biri yarıçaplı bir çekirdekten (ki esasında kütlenin çok büyük kısmını taşıyor) bahsediyoruz ve bunun ne demek olduğunu her zaman somut olarak düşünmüyoruz. Bu çok verdiğim bir örnek, ama yine de söylemeye değer: çekirdek mesela şu masa ebatlarında ise, demek oluyor ki, elektronlar aşağı yukarı İzmit'te. Yani atomun esas küt-

lesi masada, sonra İzmit'e kadar boşluk var ve etrafınızda gördüğünüz her şey bu derecede boş. Yani aslında her şey bomboş. Bunu güneş sistemiyle karşılaştırırsanız, güneşin kendi yarı çapı aslında güneş-dünya yörüngesinin yüzde 1'i mertebesinde. Demek oluyor ki güneş sistemi aslında bir atoma nazaran çok çok daha dolu. Peki ortada bu kadar boşluk varken maddenin veya sıvıların sıkıştırılamaması neden?

YOĞUN MADDELER NEDEN SIKIŞTIRILAMIYOR?

Şimdi, bu gündelik sıkıştırılamama olayının arkasında iki tane tamamıyla kuantum mekaniksel etki var. Bir tanesi **Heisenberg Belirsizlik İlkesi**; gördüğümüz gibi bir tek elektron bile olsa atom belli bir büyüklük alıyor, ondan daha küçük olmuyor. Öbürü de **Pauli Dışlama İlkesi**. Dışlama ilkesini herhalde fizikçi olmayanlar da biliyordur. Atomları oluştururken bu kesikli enerji seviyelerine elektron doldurmaya başlıyorsunuz ve belli bir seviyeye, belli bir özel duruma ancak bir tek elektron koyabiliyorsunuz; çünkü elektronlar fermiyon denilen özel bir cins parçacık, bunlardan ancak bir seviyeye bir tane konabiliyor (bozonlar halbuki bir başka cins parçacık, mesela fotonlar böyle, onlardan bir düzeye istediğiniz kadar koyabiliyorsunuz, hatta ne kadar doldursanız o kadar daha 'hoşlarına gidiyor'). Şimdi, mesela hep söyleyip durduğum bir örnek var: Boğaziçi köprülerinden atlayıp suya çarpıp ölen insanlar. Bu insanları ne öldürüyor? Hakikaten hiç mübalağa etmeden diyebiliriz ki, Heisenberg Belirsizlik İlkesi ve Pauli Dışlama İlkesi; yani iki tane gayet kuantum mekaniksel şey öldürüyor bunları. Çünkü onların vücutlarındaki elektronlar suyla te-

masa geldiklerinde hızla o suyu, yani suyun elektronlarını oradan itip boşaltmaları lazım, zira Dışlama İlkesi der ki elektronlar bu kadar birbirinin yakınına gelemez. Bunu birazdan daha detaylı olarak göreceğiz, fakat temelde elektronlar bunu yeteri kadar hızlı yapamadıkları için bu kişinin vücudu çok şiddetli bir distorsiyona uğruyor ve bunun tepkisinden de ölüyor. Peki, Pauli Dışlama İlkesi nereden geliyor? Ona daha sonra geleceğiz ve göreceğiz ki, bu ilkenin arkasında elektronların diğer bütün elektronlarla aynı, protonların diğer protonlarla aynı ve gerçekten özdeş olmaları var. Bu olmadan da zaten bu hidrojen atomlarının enerji seviyelerinin aynı olmasını açıklayamazsınız. Çünkü bir hidrojen atomu aldık, onun için Schrodinger denklemini çözdük, proton verilmiş, elektron verilmiş tamam, o zaman bunun enerji seviyeleri böyle kesikli olacak; fakat bir 'başka' hidrojen atomundaki protonun ve elektronun buradakilerle aynı olacağını kim garanti ediyor? İşte, kuantum mekaniği yetmiyor orada ve kuantum alan teorisi gerçekten lazım oluyor.

Burada, kendi talebeliğimde ilk defa bu Pauli Dışlama İlkesini duyduğumda edindiğim bir acayip izlenimi de hatırlıyorum. Seviyelere elektron koyunca o seviye doluyor gibi laflar bana çok tuhaf gelmişti. Son derece küçük boyutlarda, hiçbir zaman ulaşamayacağımız, göremeyeceğimiz boyutlarda son derece soyut şeylerden bahsederken, ortada kutular varmış gibi bu dolma, boşaltma fikirleri, "kutu boş olunca koyabiliyorsunuz, dolu olunca koyamıyorsunuz" ifadeleri ne demek? Herhalde bunlar sadece gündelik lisanımızdaki birtakım benzetmelerden ibaret diye düşünmüştüm. Şimdi anladığım şey şu ki, **aslında boşluk-doluluk gerçekten temelde Pauli İlkesinden kaynaklanıyor ve bi-**

zim kullandığımız boşluk-doluluk kavramları o atomik, elektronik seviyelerde olan işlerin gündelik lisanımızda su üstüne çıkması, şuurumuza yansıması. Yani bir benzetme falan değil, gerçekten oradan geliyor. Bozon olsaydı mesela bunlar, istediğiniz kadar aynı seviyeye koyardınız, hiç de bir şeyin dolması gibi bir olay olmazdı. Adam suya çarpıyor, adamın içi de boş, suyun da içi boş, birbirlerinden hayalet gibi geçerlerdi.

ELEKTRONLAR NEDEN ÖZDEŞ?

Bu soruya meşhur Richard Feynman'ın hocası John Wheeler'in bir cevabı var. Feynman öleli on seneyi geçiyor, ama hocası Wheeler zannediyorum artık 90 yaşlarında, maşallah hâlâ aktif ve hep orijinal fikirler ortaya atan bir insan. Onun cevabı, "ortada bir tek elektron var da onun için!" Bunların hepsi birbirinin aynısı, bir tek şey olunca zaten söylenecek bir şey kalmıyor, ama nasıl oluyor da bir tek elektron bir sürü elektron gibi görünebiliyor? Şimdi, Wheeler'in fikirleri aslında kuantum mekaniği ile kuantum alan teorisi arasında bir cins orta durak gibi bir şey ve bir şekilde kuantum alan teorisinde de bu fikirlerden bir şeyler geriye kalıyor; o yüzden bunlara bir bakmaya değer.

Relativistik olmayan kinetik enerji $E=p^2/2m$ demiştik, eğer potansiyel enerji yoksa momentum p ile E arasındaki ilişki bu. Relativistik olunca, $E^2=p^2c^2+m^2c^4$ (tabii m eğer yerli yerinde duruyorsa, yani p=0 ise bu meşhur $E=mc^2$ formülü oluyor), fakat buradan enerjiyi çözmek istediğiniz zaman bir karekök geliyor, karekök neticesinde artı eksi işaretinin ikisi de var ve bunların iki-

sini de ciddiye almak lazım. Schrodinger denkleminin relativistik genellemesini yazmaya çalışan Dirac, kendi adıyla bilinen denklemi buluyor; fakat bu negatif enerjileri görünce son derece rahatsız oluyor. Gerçekten de çok ciddi bir problem var; çünkü tabiattaki her şey mümkün olduğu kadar düşük enerjiye inmek ister, bu durumda bütün elektronlar negatif enerjilere gidecek, ortada pozitif enerjili normal elektron falan kalmayacak.

Bu meseleyi Dirac dahice hallediyor. Diyor ki, elektronların Pauli İlkesine uyduğunu biliyoruz. Tamam, bu negatif enerjili elektronlar mevcut olsun, fakat bunlar bütün negatif enerjili seviyeleri dolduracak kadar çok sayıda olsun ki, işin başından beri bu seviyelerin hepsi dolu olsun. O zaman, boşluk dediğimiz şey tamamıyla sonsuz negatif yüklü, sonsuz negatif enerjili bir elektronlar denizinden ibaret! Deniz lafını kullanan Dirac'ın kendisi. Denklemde p^2 sıfırdan küçük olamayacağı için enerjinin alabileceği değerler ya eksi mc^2'den aşağı olacak ya da mc^2'den yukarı olacak, aradaki değerler yasak. Elektronların çok büyük kısmı negatif enerjilerde, fakat yukarda da işte tek tük bizim gördüğümüz pozitif enerjili elektronlar var.

Şimdi, Pauli Dışlama İlkesine göre hakikaten negatif enerjilerin bir şekilde dibi varsa (bu konuda çok fazla bir şey söylenmiyor ama bir dip olduğunu düşünmek lazım) negatif enerjili seviyeler doldurulabilir gerçekten; oralar dolduktan sonra da bize bir miktar gördüğümüz pozitif enerjili elektronlar kalır. Ama bu her yerde böyle olduğu için, o zaman, boşluk dediğimiz şey aslında bu negatif elektron denizinden ibaret. Bu sadece enteresan ve çarpıcı bir fikir değil, bir sürü yeni olaya yol açıyor. Mesela, bir

foton gelip bir negatif enerjili elektrona vurursa (negatif enerjili bir elektronu pozitif enerjili yapabilecek kadar enerji taşıyorsa) bu elektron yukarı çıkıyor. Şimdi yeni bir elektron görüyoruz yukarıda, aşağıda ise boşluk dediğimiz yerde bir tane 'delik' meydana geldi. Bu delik de fona göre pozitif enerjili ve yüklü bir yeni parçacık gibi davranacak. Demek ki, enerjisi 2 mc^2'den fazla olan bir foton bir elektron-antielektron (pozitron) çiftine dönüşebiliyor. Şimdi, burada temel bir ontolojik yer değiştirme var: **bizim boşluk dediğimiz şey aslında tamamıyla dolu bir ortam, o tamamıyla dolu ortamdaki bir boşluk veya delik ise pozitif yüklü, pozitif kütleli bir parçacık gibi karşımıza çıkıyor.** Bu sürecin tersi de mümkün. Yukarıdaki bir elektron aşağıdaki bir deliğe düştüğü zaman fazla enerjisini bir fotonla dışarı verecek. Bu durumda elektron ve pozitron yok oluyor ve yerlerine bir foton çıkıyor. Şimdi, bu olaylara bir uzay zaman diyagramında bakalım.

Uzay zaman diyagramının çok basit bir şeklini alalım. Uzay tek boyut x, zamanın birimi de uzayınkiyle aynı olsun diye c ile t'yi çarpalım. Yatay eksen x, dikey eksen ct olsun. Uzayda sadece pozitif veya negatif x istikametlerine gidebiliriz. Pozitif x yönünde giden bir ışık sinyali x =ct , ters yönde giderse x= -ct çizgisi olacak. Bu uzay zaman diyagramında, eğer bir parçacık orijinde oturuyorsa, zaman geçerken pozisyon koordinatı hep sıfır kalacak, yani parçacık ct ekseni boyunca bir çizgi çizecek. Bir parçacık normal ışığın hızının altında bir hızla gidiyorsa, o zaman x=ct ile dikey eksen arasında bir çizgi ile gösterilecek.

Şimdi, bu çizgileri gördükten sonra, yaratma yok etme süreçlerine tekrar bakalım. Bir elektron giderken ters yönden bir pozit-

ronla çarpışıyor ve bir foton ortaya çıkıyor; ama diyelim ki, bu pozitron bir başka fotondan üretilmiş bir elektron pozitron çiftinden geliyor. Aynı çiftin elektronu sonra gidiyor ve tekrar başka bir yerden gelen pozitronla çarpışıyor, ondan sonra yine bir foton çıkıyor vesaire vesaire. Şimdi bu sürece şöyle de bakabiliriz: zamanda ileri yönde, yani **geçmişten geleceğe doğru giden bir pozitron, taşıdığı elektrik yük, momentum, spin bakımlarından gelecekten geçmişe doğru giden bir elektron gibi düşünülebilir**. O zaman, yukarda anlattığımız süreçte normal pozitronlar yerine zamanda geri giden elektronlar koyabiliriz. Bu bize zamanda aşağı-yukarı zikzaklar yapan bir tek elektron çizgisi veriyor. Bütün bu olaylar sırasında, biz mesela, etrafımıza t=0'da bakıyoruz ve bu anda bir sürü elektron ve pozitron görüyoruz; aslında bunlar, zamanda ileri-geri giden bir tek elektronun o andaki görüntüleri.

Feynman bu hikâyeyi Nobel kabul konuşmasında anlatıyor. Bir gün, Wheeler telefon ediyor Feynman'a ve "Ben biliyorum neden dünyada bir tek elektron var" diyor ve yukarıdaki argümanı veriyor. Her ne kadar Feynman konuşmasında "Bu fikri tam benimseyemedim" diyorsa da, kuantum alan teorisindeki **Feynman Propagatörü** denen şey aslında buna dayanıyor ve buradan epey ilham almış olduğu belli.

Bu noktada özetleyelim: Argümanın içerisine $E^2=p^2c^2+m^2c^4$ ve kuantum mekaniğini koyduk; ilk önce tek bir elektrondan bahsetmek niyetiyle başladık, fakat relativite ve kuantum mekaniğini bir araya getirince karşımıza negatif enerjiler çıktı; karekökün eksi işaretinden aniden bir sürü özdeş parçacık ve anti parçacık-

lar elde ettik ve üstelik gördük ki, bu sistemde tutarlı bir fizik yapmamız ancak Pauli Dışlama İlkesi de ayrıca şart koşulursa mümkün. Bunlar hakikaten birlikte giden birtakım özellikler.

Aslında Wheeler'in yaptığından daha da doğrusunu bulmak için **relativistik kuantum alan teorisi** çerçevesine gitmek gerekiyor. Buradaki kelimelerin her birinde başlı başına bir anlam var. Klasik alan teorileri eskiden beri vardı; ondan sonra relativistik olmayan, kuantum mekaniği ve kuantum fiziği var; bunlar alan teorisi olmadan relativistik yapılabilir veya klasik relativite yapılabilir. Burada ise üçü özel bir şekilde birleştiriliyor ve çok yeni şeyler çıkıyor.

ALAN FİKRİ

Alan teorisine bakarsak fikir şu: Temel fiziksel gerçeklik bizim çok defa düşündüğümüz gibi boş bir uzay; bunun içerisinde birbirlerini birtakım kuvvetlerle etkileyen, hareket eden bir takım parçacıklardan ibaret değil. Daha derin gerçeklik, daha temel fiziksel varlık, bütün uzayı kaplayan, her yerde aynı şekilde davranan bir 'alan'. Bu, fizikte çok önemli bir görüş ve her zaman bu görüş hâkim olmamış. Mesela, Dekart bir zamanlar bu görüşü savunmuş; biliyorsunuz, "doğa boşluktan nefret eder" gibi bir slogan var Dekart'tan gelen. Ona göre boşluk aslında bir ortam. Orada anaforlar var ve gezegenler işte o yüzden dönüyor. Newton da aslında $1/r^2$ kuvvetinin boş uzayda bir yerden bir yere gidebilmesinden biraz rahatsız, ama "Ben bu konuda tartışma ve bir hipotez falan yapmayacağım, işte bu yürüyor, bunun

sadece matematiksel neticelerine bakalım" diyor.

Şimdi de klasik alanlara gelelim. Alan görüşüne bakarsanız her yerde bir şey var. Klasik alanların örnekleri olarak mesela sıvı veya gazlarda ses dalgaları olabilir, katılarda elastik dalgalar, boş uzayda elektromanyetik dalgalar. Peki o elektromanyetik dalgalar için ortam nerede? Bu, Maxwell'i de çok düşündürmüş ve Maxwell, klasik fizik görüşüne bağlı bir insan olduğu için bir cins 'esir (*aether*)' ortamına gerek duymuş. Sonradan Michelson-Morley deneyi ve Einstein'ın relativite teorisi bu basit esiri gereksiz yapmış. Bu esir fizikteki birtakım önemli fikirlerden. Niels Bohr'un hani meşhur lafı var: "Basit bir doğru şeyin tersi basit bir yanlış fikirdir, fakat derin bir doğrunun tersi de derin bir doğru olabilir." Şimdi bu esir fikri, yani uzay boş mu değil mi, bunlar herhalde derin fikir diye kategorize edilmesi gereken cinsten. Esir relativiteden dolayı atıldı denilirken modern parçacık fiziğinde bir anlamda tekrar canlanıyor. **Higgs Alanı** diye bir şey gerekli ve bu modern, relativiteye uygun bir esir. Eğer bu Higgs Alanına karşılık gelen parçacıklar deneysel olarak bulunursa, bulan kesinlikle bir Nobel alacak, gerçekten çok çok önemli bir şey. Klasik alana dönersek, bu sonunda uzaydaki her noktaya bir tane basit harmonik salınımcı koymak demek.

KUANTUM TEORİSİ VE RELATİVİTENİN ALANLARA GETİRDİĞİ TEMEL ÖZELLİKLER

Şimdi, kuantum deyince hangi özellikleri kullanıyoruz? Bizim için Heisenberg Belirsizlik İlkesi önemli. Momentum-pozisyon

için olanını gördük. Zaman-enerji için de var; küçük bir 'Δt' zaman aralığında bir enerjideki belirsizlik delta E de yine $h/(\Delta t)$'den daha büyük olmalı. Açısal momentumda da var: z yönündeki açısal momentum belirsizliği ile xy düzlemindeki açısal konum belirsizliğinin çarpımı da h'den fazla olmak zorunda.

Bunu relativite ile bir arada inceleyelim. Bir momentum ölçüsü olarak mesela mc alalım (parçacık kütlesi m, ışık hızı c); eğer bu parçacığı $\Delta x=p/mc$'den daha küçük yerlere sıkıştırmaya kalkarsak, momentumu görüyoruz ki h/mc'den daha büyük olacak. Deneyleri $(\Delta x)/c$'den daha küçük zamanlara sıkıştırmaya çalışırsak, parçacığın enerjisi kütle enerjisi mc^2'nin üstüne çıkacak. Peki, mc^2'nin üstüne çıkması ne demek? $2mc^2$ olursa boşluktan parçacık üretebilme imkânımız doğuyor! Yani parçacıkları yeteri kadar sıkıştırırsak, yeni parçacık-anti parçacık çiftleri buluyoruz. Relativistik denklemler de zaten bunu destekliyor; enerjide artı-eksi işareti vardı, madde enerji dönüşümü fikrini zaten orada gördük; o yüzden, yeteri kadar enerjimiz varsa buradan parçacık elde edebiliriz. O zaman, bütün bunların hepsini bir araya getirirsek relativistik kuantum alanı şöyle düşünülebilir: **uzayın her noktasında bir kuantum basit harmonik salınımcı var ve bunlar bir şekilde birbirlerine bağlı.** Bu sistemin kipleri olacak; o kipler işte bu yaratılıp yok edilebilecek özdeş parçacıklarımız. Kütleleri aynı, fakat momentum ve enerjileri farklı olabilir. Bu kipler hakkında basit bir fikir vermek için şu örneği vereyim.

Diyelim iki tane parçacık var; soldaki bir yayla solundaki duvara, bir başka yayla sağdaki parçacığa, o da bir yayla sağdaki duvara bağlı. İki tane koordinatımız olacak; bunlar herhangi bir şe-

kilde bir salınım geçirebilir, ama esas iki tane temel önemli salınımları var, özel frekanslara karşılık gelen. Bir tanesinde kütle merkezi sabit; bunlar kütle merkezinin etrafında simetrik olarak ters yönlerde hareket ediyor. Hesaplayıp frekansının karekök 3k/m olduğunu gösterebiliyorsunuz. Bir tanesinde de ikisinin arasındaki mesafe sabit ve birlikte paralel olarak gidip geliyorlar; o zaman, frekansı karekök k/m. İki kütlemiz vardı, iki tane böyle frekans çıktı. Eğer bütün uzayı böyle birbirine bağlı kütleler ve yaylarla, sonsuz bir somya gibi bir şeyle doldurursak ne olacak? Sonsuz yerine N tane parçacık olsun burada; o zaman, üç boyuttayız ve 3N tane koordinat olacak; yani 3N de kip olacak belli öz frekanslarda. Bir alan teorisi elde etmek demek, kütlelerin aralarındaki a mesafelerini 0'a götürmek, kütleleri de 0'a götürmek ve bunun bir uygun limitini alıp sürekli ortam alan teorisine ulaşmak; o zaman, buradaki salınım kipleri de oradaki dalgalar haline gelecek.

Şimdi klasik olarak her salınımcı için bir koordinat alıyoruz q, bir de momentum p, enerji de o zaman bu kipe karşı gelen p^2+q^2 (m ve k'yi bire eşit aldık). Bunu **kuantize etmek** demek, burada hep dediğimiz gibi belirsizlik ilkesini uygulamak: delta q ile delta p arasındaki çarpım, belirsizlik gereksinimiyle h'den büyük olacak. Bunu aslında daha matematiksel ve kesin bir şekle sokmak istersek, daha temel ilişkisine gitmek istersek, p ile q'nun artık rakamlar değil, sonsuz boyutlu bir uzayda, sonsuz boyutlu matrisler olduklarını görüyoruz ve matrislerin çarpımında pq ile qp birbirine eşit değil: pq-qp = h I; burada I sonsuz boyutlu uzayda birim matris. Matris de olsalar qq-qq ve pp-pp sıfır olur; fakat aslında bu bile bozonlardan mı ve fermiyonlardan mı bahsettiğimize bağlı.

BOZONLAR VE FERMİYONLAR

Şimdi **bozonlar/fermiyonlar** nedir, birazcık açıklayalım. Bunlar bozonsa, yani her enerji durumuna veya her kuantum seviyesine istediğimiz kadar çok parçacık koyabileceğimiz cinstense, alanlar için yukarıdaki eksi işaretli şekil geçerli ve $qq-qq=pp-pp=0$ (ve qq veya pp sıfır değil) . Fermiyonlarda durum değişiyor. Fermiyonlar ve bozonları birleştiren şey şu: Şurada, q ve p'den iki kombinezon alalım: $q-ip=a$, bir de $q+ip=a^*$ ve onların cebrine bakayım. Eğer bozonlarla uğraşıyorsam, o aradaki eksi işareti geçerli: $aa^*-a^*a=1$. Fermiyonlar olursa, alttaki artı işareti geçerli: $aa^*+a^*a=1$. Fermiyonlarda bir de şöyle acayip bir şey var: İki tane a^*, yani **yaratma operatörü** (yaratma operatörü demek o frekansta bir parçacık yokken bir a^* uyguluyorsunuz, o durumda bir tane elektron yaratıyorsunuz), arka arkaya uygulayayım derseniz netice sıfır; çünkü Dışlama İlkesi 'oraya iki tane özdeş fermiyon koyamazsın' diyor. O yüzden $a^*a^*=0=aa$.

Bu kuantum özdeşlik hakikaten tuhaf bir şey ve kuantum mekaniğinin tarihi enteresan adımlarla dolu; birtakım kavramlar erken anlaşılıyor, birtakım kavramlar epey daha geç anlaşılıyor. Fikirleri en iyi kavrayan insanlar (Planck, Schroedinger, Einstein, de Broglie) sonra da kuantum teorisinden tam hoşlanmayıp terk ediyorlar ve kısmen cephe alıyorlar buna karşı. Şimdi özdeşlik fikrine dönelim.

KUANTUM VE KLASİK ÖZDEŞLİKLER

Kuantum özdeşlikle ne kast ediyoruz, klasik özdeşlikle ne kast ediyoruz? Klasik özdeşlikte şöyle bir fikir var: gidip bir avuç dolusu çelik bilya alsak ve yere saçsak, hangisinin hangisi olduğu iyicene karışır, içlerinden hepsi birbirinin aynısı gibi görünür, birbirlerinden ayırt edemezsiniz. Fakat bu aslında doğru değil. Klasik fizik gerçekten doğru olsaydı gerçek bir özdeşlik hiçbir zaman olamayacaktı, bütün parçacıkları birbirinden her zaman şu şekilde ayırabilecektiniz: Bilyaları saçarken, bir yandan da bir video kamerasıyla çok hassas ve hızlı bir şekilde bu olayın filmini çekseydiniz, her bilyanın hareketini takip edebilecektiniz ve bilyanın kat ettiği yol boyunca arkasında bir sicim gibi bir kesin bir yörüngesi bulunacaktı ve o 'sicimler' her bilya için ayrı olacaktı. Diyelim iki parçacık birbiriyle çarpışıyor; buna yeteri kadar hassas bir şekilde baktığınız zaman göreceksiniz ki, soldan gelen bu tarafa gidiyor, ötekisi öbür tarafa gidiyor. Kısa bir çarpışma süresinde bile sonsuz incelikteki yörüngeleri izleyerek bu ikisini ayırt edebiliriz.

Yörüngelerin bu kesinlikle belirlenebilmesi neyle alakalı? Belirsizlik ilkesinin olmamasıyla alakalı: $\Delta q=0$, $\Delta p=0$ ise, o zaman yörüngeyi istediğiniz kadar kesinlikle belirleyebiliyorsunuz. Ama tabii ki Belirsizlik İlkesi var; o yüzden, bu yörüngeleri bu kadar ideal matematiksel eğriler olarak değil, bulanık birtakım şeyler olarak çizmek zorundasınız, hatta bunlar aslında dalga. İki tane ayrı dalga topağı birbirlerine doğru geliyorlar ve birbirlerine giriyorlar, sonra tekrar ayrışarak yollarına devam ediyorlar. Bunlar etkileşme bölgesinden çıktıktan sonra nasıl ayırt edeceksiniz? Mesela, başta sol taraftan gelen parçacık son ikisinden hangisi?

O yüzden, burada yörüngeler kesin olmayınca parçacıkları ayırt etmek gerçekten prensip olarak imkânsız; yani bu özdeşlik başka türlü bir özdeşlik ve esas mükemmel özdeşlik bu. Bu, kuantum mekaniğinde dalga fonksiyonları yoluyla ifade ediliyor. Zaten en nihayet her şey hakkında ancak dalga fonksiyonlarıyla açıklayabildiğimiz kadar bilgimiz var, dalga fonksiyonu ötesinde bir şey söyleyemiyoruz.

Şimdi, iki parçacık için $\Psi(x_1, x_2)$ dalga fonksiyonu var; ondan da 'bir parçacık nerede, öbür parçacık nerede' ihtimal dağılımını, yani $\Psi^* \Psi$ kombinezonunu bulabiliriz. **İhtimal dağılımı** fiziksel olarak esas önemli şey olduğu için biz Ψ'yi şöyle bir $\exp(i\alpha)$ gibi bir fazla çarparsak, Ψ^*'ya da onun tersi olan $\exp(-i\alpha)$ gelecek, $\exp(-i\alpha)\exp(i\alpha)=1$ olduğundan ihtimal dağılımı bunun altında değişmeyecek, fiziksel durum aynı kalacak. Diyoruz ki, bu parçacıklar hakikaten o kadar özdeş ki, biz bunları ayırt edemiyoruz. Bunun normal parçacıklardan nasıl farklı olduğunu anlamanın bir örneğini verelim. İki tane bozonik para alalım, yazı tura atalım. Biliyoruz ki, yazı-yazı gelmesi ihtimali klasik olarak 1/4, tura-tura 1/4, yazı-tura gelmesi ihtimali soldaki para yazı sağdaki para tura, ondan sonra bir de tersi diye 1/4+1/4=1/2. Fakat kuantum özdeşlikte soldaki para-sağdaki para diye ayırım yapma imkânı yok, bunlar tamamen özdeş ve hakikaten bunları ayırt edemeyiz. O zaman elde sadece üç ihtimal var: yazı-yazı, tura-tura, biri yazı-biri tura (hangisi yazı hangisi tura onu söylemeye imkân yok zira soldaki-sağdaki ayırımı da pozisyondaki belirsizlikten dolayı siliniyor); bunların ihtimalleri baştan eşit, şu halde her birinin ihtimali üçte bir. Fermiyonik para olursa bir tek yazı tura ihtimali var, yazı-yazı veya tura-tura ihtimali zaten Dışlama İlkesinden

dolayı yok. Gerçekten bu farklı bir ihtimal hesabı.

Şimdi, bu dalga fonksiyonuna bakalım. Bir defa bunların yerini **değiş-tokuş** *(exchange)* **operatörü** uygulayarak değiştirelim. Bu operatör ikisinin yerini değiştirecek, fakat bu da aynı fiziksel durumu temsil ediyor; şu halde ilk dalga fonksiyonundan farkı olsa olsa gene bir $\exp(i\alpha)$ gibi bir faz faktörü olabilir. Bir daha operatörü uygulayalım; bir daha uygulayınca tabii ki fonksiyon eski haline gelecek, $\exp(i\alpha)$ ise $\exp(2i\alpha)$ olacak. Fakat madem aynı $\Psi(x_1, x_2)$'e geldik, demek ki $\exp(2i\alpha)=+1$, bunun karekökü $\exp(i\alpha)$ ise +1 veya −1 olmak zorunda. Elimizde bu iki ihtimal var, biri bozon biri fermiyon!

Bu iki fermiyon dalga fonksiyonu öyleyse 1 ve 2 yer değiştirirse eksi işaret kazanıyor. İki parçacık aynı yerde (mesela x_1'de) olamaz, zira x_1 ile x_1'i değiştirirsek bir yandan dalga fonksiyonu tabii ki değişmez, bir yandan da fermiyon olduğu için eksi olması gerek; böylece, $\Psi(x_1, x_1)=-\Psi(x_1, x_1)=0$. Demek ki bu durumda dalga fonksiyonu, yani fermiyonların aynı yerde olma ihtimali sıfır.

Bu efektif olarak bir itme kuvveti, ama ortada bir kuvvet uygulayan yok; ne elektromanyetik kuvvetler, ne öbür kuvvetlerden biri, ama gene de çok kuvvetli bir itme var. Ve bu öyle acayip, nadiren karşımıza çıkan falan bir şey değil; etrafımızda gördüğümüz tabiatın en temel hassalarından biri. Mesela, çekirdeklerde biliyoruz ki protonlar ve nötronlar var; nötronlarla protonlar birbirine çok benziyor, ama serbest bir proton 10^{30-31} sene falan en azından yaşıyor, hiçbir bozulmaya uğradığı görülmemiş; nöt-

ron ise çekirdekten çıkartıldığı zaman 10 dakika içerisinde beta bozunmasıyla geriye bir proton, bir elektron, bir de elektron antinötrinosu bırakarak yok oluyor. O zaman nötron neden çekirdekteyken kararlı? Kararlı, çünkü çekirdekte proton seviyeleri var, bir de nötron seviyeleri var yanında paralel olarak. Nötron bozunmaya kalksa fazla bir enerjiyle yapamıyor bunu. Ortaya da bir proton çıkacak, ama o çıkacak protonun gelebileceği yerler zaten proton dolu, yani Pauli Dışlama İlkesi sebebiyle bozunamıyor. Defalarca söylediğim bir bayat benzetmeyi tekrarlayayım: mesela şehirde bütün mezarlıklar dolu, o yüzden insanlar ölemiyor gibi bir şey.

DIŞLAMA İLKESİNİN ETKİLERİ ÜZERİNE

Burada maddenin yapısı ve davranışında Dışlama İlkesinin etkilerini biraz daha inceleyelim. Atomların yapısında gördük ki, Dışlama İlkesi sayesinde enerji seviyeleri yükseliyor. Moleküllerin atomlardan elde edilmesinde bağlar, özellikle kovalent bağlar da ancak bununla olabiliyor. Maddenin çeşitli durumlarda kararlılığı gene buna dayanıyor: mesela beyaz cüce tipi yıldızlarda gravitasyonel çökme yıldızın içerisindeki maddenin atomik yapısını da bozuyor. Serbest kalan elektronların dışlama etkisi o kadar kuvvetli ki, gravitasyonel çekme kuvvetini engelleyebiliyor (eğer yıldız belli büyüklükten daha da büyük değilse) ve bir beyaz cüce olarak kararlı bir durum elde ediliyor. Nötron yıldızlarının gravitasyonel çökmeye karşı direnci de nötronların dışlama etkisi sayesinde, metallerin termal elektriksel özellikleri ve dediğim gibi bir bardak suyun doldurulması, sıvıların sıkıştırılmazlığı

ve yoğun maddenin hacim işgal etmesi gene çok büyük ölçüde bundan. Biz Fizikçiler 'faz uzayı' diye soyut bir şey okuruz. Bu uzayda her parçacık için hem x, y, z pozisyon koordinatları, hem de p_x, p_y, p_z momentum koordinatları vardır. Aslında bir bardak suyu doldururken bu soyut görünen faz uzayını dolduruyoruz; çünkü elektronların momentumları zaten birbirinin aynısı gibi, yani momentum uzayı zaten dolmuş, o zaman geriye bize normal koordinat uzayını doldurmak kalıyor. Gene sorarsak, fermiyonlar ve Pauli Dışlama İlkesi olmasaydı boşluk ve doluluk gibi kavramlarımız olabilir miydi? Maddenin kararlılığı hakkında bu iddialar hep lafla anlatıldığı için tam ikna edici gelmeyebilir, fakat F. Dyson, E. Lieb ve W. Thirring ve başkaları tarafından yapılmış sağlam matematiksel ispatları var.

Benim de fermiyonları anlamam biraz vakit aldı. Talebeliğimde duyduğumda bunlar ne acayip, hiç bildiğimiz şeylere benzemiyor diyordum; zira bir fermiyon dalga fonksiyonunu eski haline getirmek için 360 derece döndürmek yetmiyor, 720 derece gerekiyor. Fakat bildiğimiz, tanıdığımız madde dünyası daha çok fermiyonların özellikleri üzerine kurulu. Bozonlar aslında çok daha acayip. Peki, bozonların bilinen görüntüleri ne? Onlarla fermiyonlarla olduğu kadar direkt temasa gelmiyoruz; klasik elektromanyetik dalgalarda fotonlar (ki bozonlar) fermiyonların tersine aynı duruma doluşarak dalga meydana getiriyorlar. Bunun ideal hali lazer ışınları: fotonların hepsi tam mükemmel bir şekilde aynı durumlara doluşuyor. Böyle durumlarda MAKROSKOBİK kuantum mekaniksel efektler çıkıyor karşımıza: süper iletkenlik, süper akışkanlık, Bose-Einstein yoğunlaşması gibi. Atomlarda bu yoğunlaşma mutlak sıcaklık T=0 civarında deneysel olarak

bulundu ve bulanlar Nobel'le ödüllendirildi. Fakat gündelik, laboratuvar dışı şartlarda bu cins dramatik bozon etkilerine çok rastlanmıyor diyeceğim, inşallah burada bir şey atlamıyorum.

ÖZETLE

Şimdi, bütün bunları özetleyelim. Dikkatsizce bazen diyoruz ki, gördüğümüz, kanıksadığımız dünya klasik fizikle betimleniyor. Halbuki aslında bu dünyanın hem kendisi, hem de onun hakkında geliştirdiğimiz en temel birtakım fikirler, ki aralarında aynılık, benzerlik, doluluk, boşluk, tam sayılar gibi kavramları sayabiliriz, ancak kuantum fiziği ile açıklanabiliyor. Dahası, ilkokulda öğrendiğimiz özel isimler ve cins isimler ayrımını hatırlayalım. Cins isim kediyi küçük harfle yazarız, Atatürk'ü büyük harfle yazarız. Cins isimler nereden çıkıyor? Benzer kediler olmasaydı kedi cins ismi olmazdı. Sonra fiiller: birisi bir şey yiyor, birisi ölüyor. Şimdi bu fiil nereden kaynaklanıyor? Fiiller belli ki benzer ajanlar tarafından tekrarlanan benzer eylemler. Ajanların benzerliği, yapabileceği şeylerin benzerliği, yani düşünce tarzımızın, lisanımızın temelini oluşturan unsurlar, gene sonunda relativistik kuantum alan teorisinden geliyor.

Tabii bunun da altında ne var diye sormanın sonu yok, biz de bir iki adım daha gideceğiz ve bir yerde yeni sorularda duracağız. Fakat aslında buraya kadar söylediğim şeyler biraz şöyle bir bakışa dayanıyordu: sanki işte burada bildiğimiz dünya var, oraya gövdesiz bir soyut zekâ geliyor, başta bu zekâ bir şey bilmiyor, ancak etraftan tecrübeler kazanarak (mesela birbirine benzeyen

kedilere rastlayarak) birtakım kavramlar oluşturuyor. Peki, bu soyut zekâ yerine, insan zekâsının gerçek mekanizması ile ilgili neler diyebiliriz? Burada birçok filozofun fazla basitleştirilmiş göreceği şeyler söyleyeceğiz. Haklılar, ona bir diyeceğim yok, ama bu yoldan biraz devam edelim.

Düşünmek dediğimiz şey içerisinde, herhalde bir şekilde, beyin içerisindeki sinir lifleri boyunca elektriksel sinyallerin gidip gelmesi var. Gerçi Arda ve gene felsefeci Michael Burke ile bu konuda çok tartışmamız olmuştu ve hâlâ onların bana anlatmak istediği şeyi bugün bile tam anlayabilmiş değilim. Onlar zihni olaylarla beyin olayları arasında bir temel ayrım olduğunu söylüyorlardı. Bu beyin olayları zihni olaylar mıdır, değil midir orasını bırakalım; fakat bu sinyaller nasıl gönderiliyor? Sinir lifleri içinde ve dışında sodyum, potasyum ve klor iyonlarının yoğunlukları değişiyor, o zaman elektriksel sinyaller gidiyor. Ama bu iyonların benzerliği, aynılığı nereden geliyor? En nihayetinde gene relativistik kuantum alan teorisinden. O zaman düşüncelerimizin mekanizmaları da aynı, birbirimizi anlamamızın sebebi de aynı. Beyinlerimizin yapısı da insan DNA'sının kararlılığından geliyor, onun arkasında da tekrar relativistik kuantum alan teorisi var. Yani sırf böyle sadece gövdesiz düşünebilen bir soyut zekânın değil, bizim kendi düşünce mekanizmalarımızın altında da bu var.

RELATİVİSTİK KUANTUM ALAN TEORİSİNİN TEMELLERİ

Peki, o zaman relativistik kuantum alan teorisinin altında ne var? Relativistik kuantum alan teorisinin altına baktığınız zaman doğanın simetrileri var ve bu simetriler kuantum alanları yoluyla temsil ediliyor. Kuvvetli gravitasyon alanlarının olmadığı bir bölgedeysek, mesela bir kara delik veya bir nötron yıldızı yakınında değilsek, uzay-zaman **Poincare** grubuyla temsil edilen simetrilere sahip. Bir şeyin simetrisi onu değiştirmeden üzerinde yapabileceğimiz operasyonlar demek. Burada 'şeyimiz' ne peki? Cevap: fiziğin kanunları. Onun üzerinde yapabileceğimiz değişiklikler, operasyonlar ne? Matematiksel olarak operasyonlar kendi aralarındaki **birleşme kuralları** dolayısıyla bir grup meydana getiriyorlar. Fiziksel olarak ise şunlar: **1)** Zamanda homojenlik; yani zamanın başlama noktasını keyfi olarak kaydırabiliyoruz ve kanunlar değişmiyor. **2)** Uzayda homojenlik; uzayda bir noktayla başka bir noktanın farkı yok. **3)** Dönmeler altında değişmezlik; zira yönler arasında bir fark yok. **4)** Sabit hızla birbirine göre hareket eden başka gözlem çerçevelerinden de yine aynı kanunları bulursunuz. Bu operasyonlarla bir koordinat sistemini yeni bir koordinat sistemine dönüştürüp olaylara iki koordinat sisteminden de bakarsanız yine aynı fiziksel kanunları görüyorsunuz.

SİMETRİLER, KORUNUM YASALARI VE NOETHER TEOREMİ

Şimdi burada önemli bir şey daha belirtelim: eğer bir simetri varsa, o simetriye karşı gelen bir de korunulan büyüklük var. Bu-

nun adı **Noether teoremi**. Mesela, uzayda homojenliğin yol açtığı şey momentumun korunması. Bütün bu simetri bir korunan şeye yol açıyor. Emmy Noether çok parlak bir kadın matematikçi; yüzyılın ilk yarısında bunu buluyor. Teorem derin, ispat etmesi de nispeten sofistike bir şey diye biliniyor. Fakat tamamıyla alakasız bir yerde bir argümana rastladım ve bunun sayesinde Noether teoremini bir bakıma daha iyi anladım. Sırf lafla Noether teoremini ele alan bu argüman belki Aristo'ya kadar gidiyor; fakat daha yakında, milattan sonra 6. yüzyılda John Philiponus diye bir Bizanslı (galiba esasen Bizanslı değil de İskenderiyeli olabilir veya İskenderiye'de çalışmış; demek kötüleşmeye başlamasına rağmen 6. yüzyılda hâlâ orada bilimsel bir şeyler varmış) iyi ifade ediyor. Adamın argümanı şu: tamamıyla boş ve homojen bir uzay alalım, bu boş uzayda bir parçacık gidiyor. Bu parçacık bir yerde durabilir mi veya hızını değiştirebilir mi? Hayır, çünkü bu uzayın tamamıyla boş ve homojen olduğunu söyledik; şu halde, şurada duracak dersek neden orada duruyor da bir başka yerde durmuyor diye sormak gerekir. Bütün noktalar birbirine eşdeğerse, öyle bir nokta seçemez; seçemeyeceğine göre de aynı o şekilde devam etmek zorundadır. Şimdi bu hakikaten Noether teoreminin bir özel hali: uzayın homojenliğinden momentumun korunması çıktı. Zamanın homojenliğinden de enerjinin korunması çıkıyor. Uzayda bütün yönler birbirine eşitse boş uzayda dönmekte olan bir şey düşünelim. Aniden belli bir açıda durabilir mi? Duramaz; çünkü o açının ne özelliği var? Her yön birbirine eşit demiştik; şu halde o aynı şekilde dönmeye devam edecek, yani açısal momentumu korunacak. Noether teoremi de aynen bunu veriyor.

Relativite teorisinde uzaydaki kaymalar momentumla, zamandakiler enerjiyle oluyor. Bunlar bir araya getirilip dört boyutlu bir 4-vektör elde ediliyor. Açısal momentum ise uzayda dönmelere karşılık geliyor; sabit hızla birbirine göre hareket eden koordinat sistemleri arasındaki geçişler de bu Poincare grubunun uzay-zamanda dönmelerle ilgili kısmı. Dört boyutlu dönmeler altında momentumun uzay ve zaman kısmı bir dörtlü vektör. Bir dönme altında vektörün boyu değişmez. O vektörün boyu da parçacığın kütlesi M oluyor. Meşhur İnönü-Wigner kontraksiyonundaki Wigner gösteriyor ki, parçacık alanları Poincare grubunun temsilleri ile ilgili ve bu temsiller iki etiketle belirleniyor. Biri M ve bu, kesiksiz değerler alabiliyor. Bir başka etiket daha çıkıyor bu temsiller için; o da S, yani spin denen şey. Spin ise sadece 0, 1/2, 1, 3/2 gibi değerler alabiliyor. Yine Wigner ve Bargmann gösteriyorlar ki, bunlara karşılık gelen alanların özel denklemleri var; mesela S=0, 1, 2,... Klein-Gordon denklemini sağlıyor, yani $E^2=P^2 c^2+m^2 c^2$. Yarım tamsayı s=1/2, 3/2,.. gibi alanlar bu ifadenin Dirac tipli kareköklü denklemini sağlıyor ve orada da eksi işareti çıkıyor karekök alınca. Wolfgang Pauli daha 1920'lerde tamamıyla ampirik bir şekilde ortaya attığı "Nedense bu elektronların ve yarım spinli parçacıkların böyle bir dışlama özelliği var" diye söylediği şeyi, bu defa, 1940'larda bir teorem olarak çok daha temel birtakım dayanaklardan ispat edebiliyor. Bunun içerisine giren temel fikirler de basit ve gayet genel: enerji pozitif olacak, bir tane boşluk durumu olacak, Poincare grubu geçerli olacak, ihtimaller pozitif olacak. Böyle çok genel birtakım şeylerden bu tamsayılı spinlerin bozon, yarım spinlilerin ise fermiyon olup Dışlama İlkesi sağlaması gerektiği çıkıyor. Teoremin ana fikri: Fermiyonları tutup bozon gibi, yani

$aa^*+a^*a=1$ yerine $aa^*-a^*a=1$ kullanarak kuantize etmeye çalışırsanız denizin dibi dolmuyor, içine istediğiniz kadar fermiyon atın, bir türlü yukarı çıkamıyorsunuz; öbüründe, yani bozonlardaysa $aa^*+a^*a=1$ yapmaya kalkarsanız nedensellik bozuluyor. Bunlar serbest alanlar için geçerli. Birbirleriyle etkileşen bir elektron alanıyla bir foton alanı arasındaki etkileşim kanunlarınıysa daha derin birtakım ayar simetrileri denen simetrilerden elde edebiliyorsunuz. Poincare simetrisi bize elektronlar her yerde aynı M ve S'ye sahip olacak diyor, ayar simetrisiyse aynı elektrik yükünü garanti ediyor. Yani gerçekten parçacıkların özdeşliği ve dışlama özellikleri temel simetrilere bağlanabiliyor. Kabaca, uzay-zaman orada ve burada aynıysa, oradaki elektron ve buradaki elektron da aynı olacak.

Planck sabiti h gayet ufak değil de hakikaten 0 olsaydı dünya nasıl olurdu? Herhalde bunun doğru cevabı aslında "Böyle bir dünya olamazdı" şeklinde. Yani bir sürü şeyin yürümesi h'nin 0'dan farklı olması sayesinde. Gene de devam edelim. Klasik Maxwell ve Newton denklemlerine gidelim. Bir de Lorenz kuvveti var; bir yüklü parçacık elektromanyetik alanlarda bu kuvveti hissediyor. Einstein alan denklemleri zaten klasik, oradaki problem bunun kuantum orijinalini bilmememiz. Fiziğin belki şu sıradaki temel seviyedeki çözülmemiş en muazzam problemi bu. **Sicim teorisi** bununla uğraşıyor, ama daha açıklamaktan çok uzak. Fakat bize burada sadece klasik formu gerekiyor.

Şimdi formel olarak h sıfıra giderken bu klasik denklemlerin elde edilmesinden deniliyor ki, biz bu Einstein-Maxwell-Newton-Lorenz sistemini gündelik hayatta görüyoruz. Ama temelde h

sıfır değil, sadece ufak. Peki, temelde h=0 olsaydı ve doğa hakikaten bu yasalara göre işleseydi, o zaman dünya nasıl olurdu? Bir kere özdeş parçacıklar, birbirinin aynısı atomlar olmazdı, kimya olmazdı, her şey tamamıyla amorf olurdu, hiçbir şeyin birbirine benzemesine imkân olmazdı. Nükleer, atomik enerjiler sürekli değerler alırdı, Pauli. Dışlama İlkesi ve Heisenberg Belirsizlik İlkeleri olmadığı için atomlar, moleküller (zaten yok ama) çökerdi, kararlı olamazdı, hiçbir şey başka bir şeye benzemezdi. Olabilecek sanki mümkün olan tek şey şu gibi görünüyor: her şey gravitasyon altında çökerdi ve kütleleri, yükleri, her şeyi birbirlerinden farklı olan kara delikler kalırdı ortada; yani gerçek klasik dünya bu. Etrafınıza bakarsanız, bizim yaşadığımız dünya tamamıyla bundan farklı; yani bizim yaşadığımız dünyada relativistik kuantum alan teorisi geçerli ve görünüyor ki, bu muhayyel 'hakikaten' klasik dünyayla hiçbir benzerliği yok.

Teşekkür ederim.

SORULAR

CİHAN SAÇLIOĞLU – Korkarım seviye birçok dinleyici için fazla matematiksel, birçok başkası için de çok düşük seviyede matematiksel oldu.

BİR DİNLEYİCİ – Felsefenin kuantum mekaniksel temelleri dedik. Burada kuantum mekaniği bayağı ağır bastı, felsefeyle olan bağlarına değinebilir misiniz?

C. SAÇLIOĞLU – Plato'nun evrenselleri nereden geliyor, yani mesela kedilerin birbirine benzemesi dedik. Burada hep DNA'ya falan bağlı şeyler söyledim gibi görünüyor, ama başka şeylere de gidebiliriz, mesela kayalar... Bunlar çok daha amorf gibi görünüyor, ama düşünürseniz, en nihayet kısıtlı miktarda kimyasal bileşiklerden ve jeolojik olaylardan elde ediliyorlar. Demek ki, orada da o kadar fazla seçenek yok, orada da yine tekrar edilen, sayıca nispeten yüksek olsa da sonlu şey karşımıza geliyor, o zaman böyle bir 'kaya' kavramı oluşturabiliyoruz. Yani bu kavramın arkasında dosdoğru maddenin kuantum alan teorisinde tasvir edilmesi bulunuyor. Özdeşlik fikri, benzerlik fikri hiçbir şekilde olabilir miydi, kuantum alan teorisindeki özdeşlik olmasaydı? Boşluk-dolulukla ilgili Arda Denkel ve Boğaziçi'nde başka bir Felsefeci Michael Burke'ün birtakım ontolojik argümanları vardı; bunda iki ayrı şeyin aynı yerde olamayacağı kullanılıyordu. Tam anlamadım gerçi, ama bunlar boşluk-doluluk kavramlarıyla ilgili şeyler, ki temelde yine Pauli Dışlama İlkesinden ve Heisenberg Belirsizlik İlkesinden geliyor. Daha sonra sayı kavramı dedik Bu-

na belki felsefe demeyeyim, ama sayılar yine de herhalde düşüncemizin en temel birtakım alet edevatı arasında. Cins isimler, fiiller ki düşünce süreçlerimizde kullandığımız en önemli, en temel öğelerden. Ancak Kuantum Fizik yasaları varsa bunlar var demek istedim.

BİR DİNLEYİCİ – Belki felsefenin kuantum temelleri içinde yaşadığımız, onun için de felsefeye bu soruları ilham eden şey dünyanın kuantum alanlar yapısında mı demeliyiz?

C. SAÇLIOĞLU – Benim gençliğimde tartışmalar olurdu, herkes bir tek şeyi okurdu, Politzer'in kitabını. Okuduktan sonra da tabii çok sert materyalist olunurdu. Berkeley'e hiç okumadan çok fena halde kızmak gerekirdi. Şimdi, aslında bu dediklerim bir cins materyalist görüş gibi oluyor. Kuantum materyalizm diyebiliriz, ille de buna bir isim takılacaksa; ama dediğim gibi, kuantum materyalistliğinin de arkasında bu parçacıkların Hilbert Uzayı var , peki o soyut uzay nereden çıktı?

PROF. DR. ALİ ALPAR – Felsefeyle ilişkilendirirken belki şöyle bir şey söyleyebilirsin: Eğer bir felsefi seçim olarak bu felsefi kategorileri yahut önemli felsefi kategorileri algıya ve algı vasıtasıyla dış dünyaya bağlayacaksam, orada klasik fiziğin dış dünya tasviri iflas ediyor. Bu kadar kanıksadığımız birtakım özelliklerin falan temelini algıya bağlayacaksam kuantum mekaniği gerekiyor; bunlar klasik fizikle tutarlı değil.

C. SAÇLIOĞLU – Tamam, çok doğru.

BİR DİNLEYİCİ – Şöyle bir şey diyorum. Fizikçiler bütün doğa olaylarını tek bir teoriyle açıklama çabası içindeler...

C. SAÇLIOĞLU – Böyle bir şey var, farklı farklı görülen şeyler birleştiriliyor.

– Acaba sizin bugün yaptığınız bu konuşmayı üç alanın bir parçası olarak görebilir miyiz?

– Yok değil, yani o tamamıyla...

– Yani çok geniş açıklamalar yaptınız teorik olarak, sanki böyle bir çağrışım yaptı bende.

– Bu anlattığım şeylerin hepsi bilinen şeyler; orada mesele bilinmeyen birtakım yasaları bulmaktır. Ben sadece bilinen yasaların kalitatif bir şekilde etrafımızdaki gündelik şeylere uygulanmasından bahsettim. Çünkü profesyonel fizikçi çoğunlukla bardağa su dolarken seviye neden yükseliyor falan bunu fazla düşünmüyor da, muonium atomunda şu enerji seviyesinde kuantum elektrodinamiğiyle bilmem kaçıncı mertebeden düzeltmeyi hesaplayabilirim problemi ile ilgileniyor. Ama o relativistik kuantum alan teorisi dosdoğru daha böyle çok daha gündelik bir şeyde karşımıza çıkıyor. Fakat, dediğim gibi beynimiz öyle yıkanmış ki, 'relativist kuantum alan teorisi sadece o düzeltmede kullanılır, gündelik hayatımızda alakası yoktur, orada klasik fizik yeterlidir' yanılgısı var, ben sadece ona dikkati çekmek istedim. Temel birleştirme programı ise çok öteden beri gelen, bugünlerde de işte bu sicim teorisiyle falan yapılmaya çalışılan bir şey.

BİR DİNLEYİCİ – Biz şimdi maddenin yapısını çözersek bizim hayal edemeyeceğimiz kadar fayda elde edebilecek miyiz? Mesela ben toplum bilimiyle uğraşıyorum; yakıtsız ulaşım sağlanacak

mı, yani bu tip şeylere varabilecek miyiz?

C. SAÇLIOĞLU – Şimdi, bu konularda bir öngörüde bulunmak çok tehlikeli bir şey. Yanlış tahminlerin başlı başına bir tarihi var. Meşhur bir olay: Faraday'a soruyorlar, endüksiyonu bulunca "Peki, bu neye yarar" diye. Bugün işte elektriksel enerji jenerasyonu, elektriksel motorlar, kullandığımız teknolojinin çok büyük kısmı adamın bu kanununa dayanıyor. Faraday'ın meşhur cevapları var: politikacı sorunca, "Bilmiyorum, ama sizin hükümetiniz herhalde bundan bir vergi almanın yolunu bulur" diyor. Başka bir bir hanım soruyor neye yarar diye, ona da "Yeni doğmuş bir bebek neye yarar?" diyor. Nükleer enerji hakkında konuyu esas ilk inceleyen adam Rutherford, "Bizim görebileceğimiz gelecekte nükleer enerjinin herhangi bir şekilde pratik uygulamasının olması söz konusu değildir" diyor. Yani, şimdi burada belki biraz daha güvenerek Sicim teorisi bir şeye yaramaz denebilir Çünkü, bu hiçbir zaman laboratuvarda üretemeyeceğimiz enerjilerde geçerli olacak bir teori; onun için, onları üretemeyeceğimize göre bu tamamıyla bir entelektüel merakı tatmin etmek için yapılmış bir şey olacak gibi görünüyor; uygulaması hiçbir zaman yapılamayacak gibi görünüyor ama belli de olmaz.

BİR DİNLEYİCİ – Elektrik alanı, manyetik alan, bunları bir anlatır mısınız nasıl oluyor.

C. SAÇLIOĞLU – Basit değil.
– Mesela fotonların elektrik alanına erişimi nasıl oluyor?
– Kuantum alan teorisi görüşünde alan daha temel bir fiziksel gerçeklik. Sanki bir ortam var, bu ortamda birtakım dalgalan-

malar ve bu dalgalanmalara kuantum şeklinde bakarsanız, ki doğru şekli o, o zaman görüyorsunuz ki, o dalgalanmalar yer yer böyle lokalize olabiliyor, çok belirgin özdeş özellikler taşıyor, onları da biz parçacık olarak görüyoruz. Hatta bütün etrafta gördüğümüz, kendimiz de dahil olmak üzere, her şey o parçacıklardan, o alanın ürettiği parçacıklardan meydana getirilmiş. Yani esas temel varlık kuantum alan ve o alan bu parçacıkları saçıyor etrafa bir şekilde.

– O alanın ne olduğu hakkında bir fikriniz yok.

– Matematiksel ifadelerimiz var onun hakkında, zihnimizde bir tablo var. Mesela bir su dalgasına baktığımız zaman orada su nasıl bir ortamsa ve nasıl dalgalar oluyorsa, görüyoruz ki daha soyut bir şekilde yine bir ortamda yine birtakım dalgalanmalar var. Alan fikirlerinin arkasında bunlar var, ama sonunda esas mesele yazdığınız denklemdir ve o denklemde de çıkarılan şeyin deneyci tarafından nasıl ölçüleceğidir. Yani fizikte sonunda iş buna geliyor. Ortaya bir tane matematiksel strüktür koyuyorsunuz, onun içerisinde birtakım semboller var, o sembollerin hepsi de deneysel olarak direkt ölçülemiyor, ama deneysel olarak en nihayet şunlar şunlar şu şekilde ölçülecek diye bir şey söylüyorsunuz. O teorinin söylediği şeylerle o deneycilerin sonunda ölçtükleri şeyler arasında da bir güzel uyuşma olursa, demek fiziksel gerçekliği bu seviyede açıklayabiliyorum diyorsunuz, geçerli modelini buldum diyorsunuz, sonra buna alışıyorsunuz ve matematiksel hesabı bu modele görmeye başlıyorsunuz.

A. ALPAR – Belki birinci sınıf fizik dersi aldığımız şekilde anlatabiliriz. Mesela iki tane yük var, bir bakış şu: buradaki yük, buradaki yükü itiyor veya o hareketi değiştiriyor diyebiliriz. Ama bu

yük olmasa, başka bir yük olsaydı ona da bu bir şey yapacaktı, o zaman bu bütün uzaya bir şey yapacaktı, o da alandır. Hiçbir yük bulunmazsa alan fikrinin kendi kendine bir anlamı var mı? Bilimsel açıdan bakınca, deneysel olarak o yük başka alanı yaratıyor, kendisi şöyle değişiyor şeklinde bir dinamiği var, onu da deneysel olarak gözleyebiliriz, o zaman parçacıklar hareketinin ne kadar gerçekliği varsa o alanların da o kadar var.

C. SAÇLIOĞLU – Bu fikirler hakikaten temel. Newton, Ali'nin ilk dediği gibi bu uzaktan etki fikrini kullanıyor, bu tasvirde burada bir parçacık var, o dünyadaki tek parçacıksa hiç tepki-etki falan yok, ancak bir başka parçacık daha çıkınca bunlar birbirlerini görüp bir etkileşme yapıyorlar. Bu tabloda alan diye başlı başına bir şey yok. Faraday'ın ve Maxwell'in görüşündeyse, Ali'nin dediği gibi ikinci parçacığı koymasanız bile şuraya bir tane yük koyunca bu bir şekilde etrafı etkiliyor, etrafındaki bütün bölgeyi.

Mesela, düşünün büyük bir su havuzu ortasında bir delik var ve su dönerek boşalıyor buradan. Şimdi bunun içerisine bir çöp parçası koysanız sürüklenecek. Orada bir hız alanı var, o hız alanı o çöp parçacığını etkileyerek hareket ettiriyor. Elektromanyetik alan örneğinde alanın kendi başına gerçekliği olduğunu göstermek için Maxwell'den sonra Hertz bir deney yapıyor. Burada bir yüklü parçacığı sallıyorsunuz, ondan sonra bir de bakıyorsunuz, öbür tarafta tam Maxwell'in dediği cinsten bir sinyal geliyor, o sinyalin ikinci parçacıktaki etkisini görebiliyorsunuz, demek ki buradan bir şey çıkıp buraya kadar gidiyor diyebiliyorsunuz. Bu giden şeyin de başlı başına kendi bir gerçekliği var, o da alan.

PROF. DR. CİHAN SAÇLIOĞLU

Fizik lisansını Ortadoğu Teknik Üniversitesi'nden 1970'de, fizik doktorasını ABD'de University of Chicago'dan 1974'te alan Cihan Saçlıoğlu'nun araştırma alanları teorik temel parçacıklar fiziği ve kuantum alan teorisi ile genel görelilik teorisi ve matematiksel fiziktir.

Prof. Saçlıoğlu'nun görev aldığı kurumlar şunlardır: Oxford University (İngiltere)1974-1976; ODTÜ 1976-1977; Boğaziçi Üniversitesi 1977-2003. Boğaziçi'nden izinli olarak Yale University (ABD) 1978-1979; Bonn Üniversitesi (Almanya) 1980-1982; Princeton Institute for Advanced Study (ABD) 1985-1986; CERN (İsviçre) 1988 yaz ve Boğaziçi -TÜBİTAK Feza Gürsey Araştırma Enstitüsü (yarı zamanlı).

Prof. Saçlıoğlu Alexander von Humboldt araştırma bursu (1980-1982); TÜBİTAK Teşvik Ödülü (1985); Sedat Simavi Ödülü (1992) sahibidir.

AKADEMİ FORUMU DİZİSİ

1. Talat Halman, *21. Yüzyılda Üniversite ve Kültür*, 2. baskı

2. Halil İnalcık, *Tarih ve Akademi*, 2. baskı

3. Kemal Kurdaş, *Türkiye Ekonomisindeki Çöküş ve Geleceğe Bir Bakış*

4. Sema Tutar Pişkinsüt, *Türkiye'de İnsan Hakları ve Demokrasi*

5. Karen Fogg, *Avrupa Birliği'nin Güncel Eğilimleri ve Türkiye*

6. Bakır Çağlar, *İnsan Hakları Avrupa Sözleşmesi Hukukunda Türkiye*

7. Attila Karaosmanoğlu, *Türkiye'de Yeniden Yapılanmayla İlgili Sorunlar*

8. Stefanos Yerasimos, *Birinci Dünya Savaşı ve Ermeni Sorunu*

9. Gökhan S. Hotamışlıgil, *Yağ hücresi Gelişimi ve Enerji Metabolizmasının Moleküler Kontrol Mekanizmaları*

10. Korkut Boratav, *Türk Ekonomisinin Son Durumu*

11. M. Orhan Öztürk, *Sorma-Bilme Dürtüsü ve Girişim Duygusu Nasıl Yok Ediliyor?*

12. Bozkurt Güvenç, *Osmanlı'dan Cumhuriyete Kültürümüzde Batı Etkileri*

13. Doğan Kuban, *Kırsal Kültürün Nesnellik Boyutları*

14. Mehmet Özdoğan, *Güneydoğu Anadolu'nun Kültür Tarihindeki Yerine Farklı Bir Bakış*

15. Ziya Aktaş, *Türkiye'de Bilgi Toplumuna Nasıl Erişiriz?*

16. Stanford J. Shaw, *Bir Düşüncenin Gerçekleşmesi: Osmanlı*

Tarihi Çalışmalarım

17. M. Ali Alpar, *Uzay Ajansları*

18. Nimet Özgüç, *Hatti Efsanesi Yılan Illuyanka'nın Tasvir Sanatında Yorumu*

19. Ural Akbulut, *Tanzimattan Cumhuriyete Eğitim*

20. Ünal Tekinalp, *Türk Hukukunun AB Hukukuna ve Avrupa Konvansiyonuna Uyumu Sorunu*

21. Erdal İnönü, *Bilimsel Devrim ve Stratejik Anlamı*

22. Ergun Özbudun, *2002 Seçimleri Işığında Türk Siyasetinde Eğilimler*

23. Nusret Aras, *Üniversite Yasası Nasıl Olmalı?*

SATIN ALMAK İÇİN:

Ankara: Atatürk Bulvarı No: 221, Kavaklıdere 06100

Tel: 0312 468 53 00 (1105)

İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Dil ve İnkilap Tarihi Bölümü, Eski Maden Fakültesi Binası, Maçka 80200

Tel: 0212 219 16 60

Türkiye Bilimler Akademisi,
bilimi ve bilimsel uğraşıyı benimsetmek, desteklemek ve bilimin toplumsal yaşamdaki etkinliğini artırmak amaçlarını güden özerk bir bilim kuruluşudur. Üyeleri, uluslararası bilimsel kimlikleri ve üstün başarıları ile öne çıkmış bilim insanları arasından yüksek liyakat esasına göre seçilirler.

Akademi,
ülkemizde en yüksek bilimsel ölçütlerin yaşama geçirilmesi, bilimsel yaklaşımın her alanda toplumun çözüm arama yeteneğini artırıcı biçimde benimsenmesi, bilimsel ve teknolojik veriler ışığında temel toplumsal stratejilerin belirlenebilmesi için geniş bir tartışma ortamının oluşmasını amaçlar. Bilim etiğinin, kendi üyeleri arasında ve tüm bilim topluluğunda özümsenmesi ve eksiksiz uygulanması, düşünce özgürlüğünün, bilim ve tartışma kültürünün yerleşmesi için çaba sarf eder. Akademi, çalışmalarını, başta üyelerinin olmak üzere, bilim topluluğunun gönüllü katılım ve katkılarıyla yürütmektedir.

(http://www.tuba.gov.tr)

Türkiye
Bilimler Akademisi



ISBN 975-8593-55-2





Fiyatı: 2.000.000.- TL (KDV DAHİL)